

气体在洗涤塔中的冷却

Н. Н. 叶戈罗夫 著

高等教育出版社

81.176

732

02

气体在洗滌塔中的冷却

Н. Н. 叶戈罗夫 著
沙 必 时 譯

312-1/21

高 等 教 育 出 版 社

本書系根据苏联国立化学科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство химической литературы) 出版的叶戈罗夫 (Н. Н. Егоров) 所著 “气体在洗滌塔中的冷却” (Охлаждение газа в скрубберах) 1954 年版譯出。

書中敘述了应用于化学工業、冶金工業以及可燃气体生产中作为气体冷却器的洗滌塔的结构; 研討了洗滌塔中所进行的热交换过程的原理; 介紹了各种型式洗滌塔的热計算方法; 將作为直接作用冷却器和气体淨制器的洗滌塔的一些操作数据予以系統化, 再討論了選擇洗滌塔类型和确立其操作規程的技术經濟前提。

本書可供設計机构和工業企業的工作人員作为洗滌塔的設計和操作的参考書; 亦可供高等工業学校及中等技术学校学生在學習“过程与設備”課程以及作課程設計或畢業設計时采用。

气体在洗滌塔中的冷却

Н. Н. 叶戈罗夫著

沙必时譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·286 開本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 5 $\frac{5}{16}$ 插頁 1 字數 112,000

一九五七年二月北京第一版

一九五七年二月北京第一次印刷

印數 0001—5,000 定價 (10) ¥ 0.84

序

在化学工業和冶金工業的各工厂中,在可燃气体、人造液体燃料的生产部門中以及在許多其他生产部門中,广泛地应用洗滌塔来冷却所生产的气体。例如氮肥料、純碱、煉焦化学、烟黑、燃料氢化和汽油合成等工厂,木漿制紙厂、高爐車間、煤气發生站以及有色冶金工厂等等,上述部門,还不过是那些应用洗滌塔来冷却气体的各种生产部門中之一小部分而已。

苏联的学者們已很有成效地研究了許多有关洗滌过程理論的問題。特別有价值的,是 Л. Д. 別尔曼^[1,2] 关于联合傳热及傳質理論方面的著作, А. А. 高戈林^[3,4] 和 Ф. И. 魯多梅特金^[4] 的著作,以及以 Ф. Э. 捷尔仁斯基命名的全苏热工研究所的工作人員 И. И. 米哈依洛夫和 В. И. 高尔德什季克的著作等。Л. И. 庫德利雅舍夫^[5] 的著作叙述了溫度差的測定, Л. И. 魏魯包夫^[6] 的著作介紹了給热与液滴蒸發。最后,在 И. М. 查沃龙柯夫^[7] 的著作中闡明了洗滌塔的流体动力学。

然而,洗滌理論的研究水平,还不能与这类設備的广泛流行相适应。在文献中,闡明得特別欠缺的,并且無論如何是完全沒有系統化的,就是洗滌塔的热計算問題。有关洗滌塔操作的实际数据的評價和所制定的洗滌裝置的設計标准,也是十分不够的。現有的实际数据(例如,傳热系数、噴淋率标准等等),不仅是不够綜合的,而且往往是广大技术界所不熟悉的。对洗滌塔的计算和洗滌塔类型的選擇,缺乏統一的原則。最后,在所知的关于过程及設備的教学用書中,既無洗滌塔構造的系統的論述,又無洗滌塔計算原則的总的分析。仅仅 Г. О. 努辛諾夫^[8] 發表了填充式洗滌塔的完

全計算（然而是在不正確的基础上的），并援引了有关洗滌塔結構的某些資料。在 B. M. 拉默^[9]的关于热交換設備一書中的某一章內，叙述了洗滌塔的计算方法，然而这种方法，是不能普及到洗滌塔操作的一切方案的，而且帶有相当抽象的性質。在外国文献中，同样沒有关于洗滌塔方面的專門著作，仅仅在工業杂志中，間或可以見到个别的关于構造方面或实用計算方面的文章。

在本書中，著者試圖給出洗滌塔的热計算方法，而同时拟將洗滌塔的構造及其水力学計算的材料加以系統化。讀者對本書的一切批評性的意見，著者預先在此致以謝意。

И. И. 叶戈罗夫

目 录

序.....	5
緒論	7
洗滌塔中的热交換和質交換	8
洗滌塔的基本型式.....	18
第一章 填充洗滌塔的構造.....	19
洗滌塔的填料.....	23
填料的給液及液体在填料上的分布.....	27
液体的泄出.....	39
液体霧沫与細滴的收集.....	41
第二章 填充洗滌塔的水力学計算.....	44
填料的湿潤表面及噴淋率标准.....	44
洗滌塔填料的阻力.....	52
第三章 填充洗滌塔的热計算	60
填充洗滌塔中的热交換.....	60
填充洗滌塔中傳热过程的特点.....	60
填充洗滌塔中的傳热系数.....	62
填充洗滌塔的热計算方法.....	73
平均溫度差的逐段測定.....	74
填充洗滌塔的全計算方法.....	80
在低的“水气比”时洗滌塔的計算方法.....	84
用閉合循环水的洗滌塔和它的計算.....	92
冷却飽和气体的洗滌塔的計算方法.....	96
根据質傳遞方程式計算洗滌塔的方法.....	97
在弦柵填料洗滌塔中冷却不飽和气体的計算示例	102
用低的“水气比”的洗滌塔的計算示例	108
第四章 填充洗滌塔的操作	116
填充洗滌塔的工作分析	116
有关填充洗滌塔操作的生产数据	119
填充洗滌塔中的除塵和气体淨制	123
第五章 空心（無填料）洗滌塔	130

空心洗滌塔的構造	130
阶式洗滌塔	130
机械洗滌塔	134
噴霧洗滌塔	136
冷却-增湿的气化洗滌塔	139
空心洗滌塔中的热交换	151
空心洗滌塔中的傳热系数	151
有关空心洗滌塔操作的生产数据	153
气体在空心洗滌塔中的淨制	155
冷却下飽和气体用的帶噴霧器的空心洗滌塔的计算方法	156
結語	158
填充洗滌塔与空心洗滌塔的比較特性	158
冷却飽和气体到低溫度用的洗滌塔	159
热气体用的气化洗滌塔	161
参考書刊	163
附录：湿气体的 $I-d$ 圖	
人名对照表	167
中俄名詞对照表	168

81.176

732

02

气体在洗滌塔中的冷却

Н. Н. 叶戈罗夫 著
沙 必 时 譚

312-1/21

高 等 教 育 出 版 社

本書系根据苏联国立化学科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство химической литературы) 出版的叶戈罗夫 (Н. Н. Егоров) 所著 “气体在洗滌塔中的冷却” (Охлаждение газа в скрубберах) 1954 年版譯出。

書中敘述了应用于化学工業、冶金工業以及可燃气体生产中作为气体冷却器的洗滌塔的结构; 研討了洗滌塔中所进行的热交换过程的原理; 介紹了各种型式洗滌塔的热計算方法; 將作为直接作用冷却器和气体淨制器的洗滌塔的一些操作数据予以系統化, 再討論了选择洗滌塔类型和确立其操作規程的技术經濟前提。

本書可供設計机构和工業企業的工作人員作为洗滌塔的設計和操作的参考書; 亦可供高等工業学校及中等技术学校学生在學習“过程与設備”課程以及作課程設計或畢業設計时采用。

气体在洗滌塔中的冷却

Н. Н. 叶戈罗夫著

沙必时譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·286 開本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 5 $\frac{5}{16}$ 插頁 1 字數 112,000

一九五七年二月北京第一版

一九五七年二月北京第一次印刷

印數 0001—5,000 定價 (10) ¥ 0.84

目 录

序.....	5
緒論	7
洗滌塔中的热交換和質交換	8
洗滌塔的基本型式.....	18
第一章 填充洗滌塔的構造.....	19
洗滌塔的填料.....	23
填料的給液及液体在填料上的分布.....	27
液体的泄出.....	39
液体霧沫与細滴的收集.....	41
第二章 填充洗滌塔的水力学計算.....	44
填料的湿潤表面及噴淋率标准.....	44
洗滌塔填料的阻力.....	52
第三章 填充洗滌塔的热計算	60
填充洗滌塔中的热交換.....	60
填充洗滌塔中傳热过程的特点.....	60
填充洗滌塔中的傳热系数.....	62
填充洗滌塔的热計算方法.....	73
平均溫度差的逐段測定.....	74
填充洗滌塔的全計算方法.....	80
在低的“水气比”时洗滌塔的計算方法.....	84
用閉合循环水的洗滌塔和它的計算.....	92
冷却飽和气体的洗滌塔的計算方法.....	96
根据質傳遞方程式計算洗滌塔的方法.....	97
在弦柵填料洗滌塔中冷却不飽和气体的計算示例	102
用低的“水气比”的洗滌塔的計算示例	108
第四章 填充洗滌塔的操作	116
填充洗滌塔的工作分析	116
有关填充洗滌塔操作的生产数据	119
填充洗滌塔中的除塵和气体淨制	123
第五章 空心（無填料）洗滌塔	130

空心洗滌塔的構造	130
阶式洗滌塔	130
机械洗滌塔	134
噴霧洗滌塔	136
冷却-增湿的气化洗滌塔	139
空心洗滌塔中的热交换	151
空心洗滌塔中的傳热系数	151
有关空心洗滌塔操作的生产数据	153
气体在空心洗滌塔中的淨制	155
冷却下飽和气体用的帶噴霧器的空心洗滌塔的计算方法	156
結語	158
填充洗滌塔与空心洗滌塔的比較特性	158
冷却飽和气体到低溫度用的洗滌塔	159
热气体用的气化洗滌塔	161
参考書刊	163
附录：湿气体的 $I-d$ 圖	
人名对照表	167
中俄名詞对照表	168

序

在化学工業和冶金工業的各工厂中,在可燃气体、人造液体燃料的生产部門中以及在許多其他生产部門中,广泛地应用洗滌塔来冷却所生产的气体。例如氮肥料、純碱、煉焦化学、烟黑、燃料氢化和汽油合成等工厂,木漿制紙厂、高爐車間、煤气發生站以及有色冶金工厂等等,上述部門,还不过是那些应用洗滌塔来冷却气体的各种生产部門中之一小部分而已。

苏联的学者們已很有成效地研究了許多有关洗滌过程理論的問題。特別有价值的,是 Л. Д. 別尔曼^[1,2] 关于联合傳热及傳質理論方面的著作, А. А. 高戈林^[3,4] 和 Ф. И. 魯多梅特金^[4] 的著作,以及以 Ф. Э. 捷尔仁斯基命名的全苏热工研究所的工作人員 И. И. 米哈依洛夫和 В. И. 高尔德什季克的著作等。Л. И. 庫德利雅舍夫^[5] 的著作叙述了溫度差的測定, Л. И. 魏魯包夫^[6] 的著作介紹了給热与液滴蒸發。最后,在 И. М. 查沃龙柯夫^[7] 的著作中闡明了洗滌塔的流体动力学。

然而,洗滌理論的研究水平,还不能与这类設備的广泛流行相适应。在文献中,闡明得特別欠缺的,并且無論如何是完全沒有系統化的,就是洗滌塔的热計算問題。有关洗滌塔操作的实际数据的評價和所制定的洗滌裝置的設計标准,也是十分不够的。現有的实际数据(例如,傳热系数、噴淋率标准等等),不仅是不够綜合的,而且往往是广大技术界所不熟悉的。对洗滌塔的计算和洗滌塔类型的選擇,缺乏統一的原則。最后,在所知的关于过程及設備的教学用書中,既無洗滌塔構造的系統的論述,又無洗滌塔計算原則的总的分析。仅仅 Г. О. 努辛諾夫^[8] 發表了填充式洗滌塔的完

全計算（然而是在不正確的基础上的），并援引了有关洗滌塔結構的某些資料。在 B. M. 拉默^[9]的关于热交換設備一書中的某一章內，叙述了洗滌塔的計算方法，然而这种方法，是不能普及到洗滌塔操作的一切方案的，而且帶有相当抽象的性質。在外国文献中，同样沒有关于洗滌塔方面的專門著作，仅仅在工業杂志中，間或可以見到个别的关于構造方面或实用計算方面的文章。

在本書中，著者試圖給出洗滌塔的热計算方法，而同时拟將洗滌塔的構造及其水力学計算的材料加以系統化。讀者對本書的一切批評性的意見，著者預先在此致以謝意。

И. И. 叶戈罗夫

緒 論

工業操作上,在特殊的設備中用液体来洗滌气体的过程,通常称为洗滌过程。在这些特殊的設備中,通常是在直立的塔中,气体与液体之間發生密切的接触。

这样的操作可以有各种不同的目的: 1)用液体吸收气体混合物中的某些組分, 2)除淨气体中的塵灰或霧狀液体, 3)气体的增湿或干燥, 4)溶液的蒸濃。

洗滌塔的最广泛的用途是冷却气体。

在以后的叙述中,將主要討論作为这种用途的洗滌过程。至于这过程之应用于其他的目的,例如,气体的增湿或干燥,以及气体的除塵,則仅仅是在气体冷却时,要順便地或不可避免地發生这些附帶过程的情况下,才提及之。作为致冷用的液体,則將討論最廉价的冷却剂——水。

用来冷却气体的洗滌塔的尺寸,不仅取决于所冷却的气体的容积和必需自气体中取去的总热量,同时亦与洗滌塔單位容积或單位热交換面积所傳遞的热量有关。为了决定洗滌塔的尺寸,應該將它当作有气体-液体的載热体直接作用的热交換設備来进行热計算。

如所有的换热器的計算一样,洗滌塔的热計算的基本方程式,乃是大家知道的傳热方程式:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau + q \quad (1)$$

式中 Q ——所傳遞的热量, [千卡];

k ——傳热系数, [千卡/米²·小时·°C];

F ——傳热面积, [米²];

Δt ——平均溫度差, $[\text{°C}]$;

τ ——時間, $[\text{小时}]$ 。

若不計散失于周圍介質中的熱量損失 q , 則得到每小時所傳遞的熱量為:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \text{ [千卡/小时]} \quad (2)$$

雖然基本計算方程式是很簡單的, 但還不能證明洗滌塔的整個熱計算是並不複雜的。因為在這個方程式中的每一個量的求定, 對洗滌過程來說, 都有它本身的特点。這些特点是與洗滌塔中沒有分隔兩載熱體的間壁有關的, 而在其他換熱器中都有這種間壁, 由此可見, 在洗滌塔中與熱傳遞同時存在的, 還有由一個載熱體到另一個載熱體的質傳遞 (在水的汽化和水蒸汽的凝結時)。此外, 洗滌塔中熱交換面積 F 的真實大小, 在大多數情況下, 實際上是不可測定的, 而用所謂對數均值所求定的平均溫度差, 在大多數情況下, 亦成為不正確了。洗滌過程的所有這些特点, 都要求專門的分析。

下面我們將討論一下氣體與液體直接接觸時所發生的現象。

洗滌塔中的熱交換和質交換

如果氣體的溫度 $t_{\text{г}}$ 與水的溫度 $t_{\text{ж}}$ 不同, 則當氣體與水接觸時, 將以直接熱交換的方式而發生熱量的轉移, 這種熱量轉移可以用下列方程式表示之:

$$\pm Q' = k \cdot F (t_{\text{г}} - t_{\text{ж}}) \text{ [千卡/小时]} \quad (3)$$

此外, 如果氣體中水蒸汽的分壓 ($P_{\text{г}}$) 與在水面上的而取決於水的表面溫度的水蒸汽的飽和蒸汽壓 ($P_{\text{ж}}$) 不一樣, 則水蒸汽將由氣相轉移到液相 (凝結), 或相反地, 由液相轉移到氣相 (汽化), 轉移的量如下:

$$\pm \Delta W = \beta(P_T - P_{\text{ж}})F \text{ [千克/小时]} \quad (4)$$

式中 β ——傳質系数, [千克/米²·小时·毫米汞柱];

P_T 和 $P_{\text{ж}}$ ——压强, [毫米汞柱]。

同时, 所轉移的热量可由下列方程式决定:

$$\pm Q'' = r\Delta W = r\beta(P_T - P_{\text{ж}})F \text{ [千卡/小时]} \quad (5)$$

式中 r ——水在該溫度时的汽化潛热。

在上列方程式(3)、(4)、(5)中, 正号用在热量和質量自气体介質轉移到液体中的情况($t_T > t_{\text{ж}}$ 和 $P_T > P_{\text{ж}}$), 而負号用于热量和質量自液体轉移到气体中的情况($t_T < t_{\text{ж}}$ 和 $P_T < P_{\text{ж}}$)。

实际上可能有下列三种情况:

1. 被水蒸汽所飽和了的热气体与冷水相接触($t_T > t_{\text{ж}}$ 和 $P_T > P_{\text{ж}}$)。这时气体冷却, 同时气体中所含水蒸汽的一部分凝結(气体的干燥); 此时水获得了热量 $Q' + Q''$ 而被加热。

2. 干燥的热气体与加热过的水相接触($t_T > t_{\text{ж}}$ 和 $P_T < P_{\text{ж}}$)。这时气体冷却, 同时由于水的汽化亦使气体的湿含量增大; 自气体向水中所傳遞的热量为 $Q' - Q''$ 。随着水被加热的程度的增高, 水面上的蒸汽压 $P_{\text{ж}}$ 增加, 而溫度差($t_T - t_{\text{ж}}$)减低; 同时 Q' 减低而 Q'' 增加, 直到它們成为相等时为止。此后, 水在达到了所謂湿球溫度^①之后, 便不再被加热, 且將只是在恒溫度下汽化, 而所有自气体中傳遞到水中的热量, 將仍回到气体中。

3. 加热了的水与干燥的冷气体相接触($t_T < t_{\text{ж}}$ 和 $P_T < P_{\text{ж}}$)。这时热量以直接的热交换方式和以轉入气相中的水蒸汽帶入的方式, 而自水中傳入气体中, 其量为 $Q' + Q''$; 同时, 水被冷却且部分地汽化, 而气体則被加热和增湿。

在生产的条件下, 通常应用柱狀的洗滌塔来冷却气体, 在塔中

① 在某溫度下, 当不飽和气体与水接触时, 若气体能依靠水的蒸發以进行絕热冷却而逐渐变成飽和, 則此溫度称为湿球溫度 $t_{\text{ж}}$ 。

主要是实现气体和水的向流接触(圖 1)。在塔的頂部所送入的水,

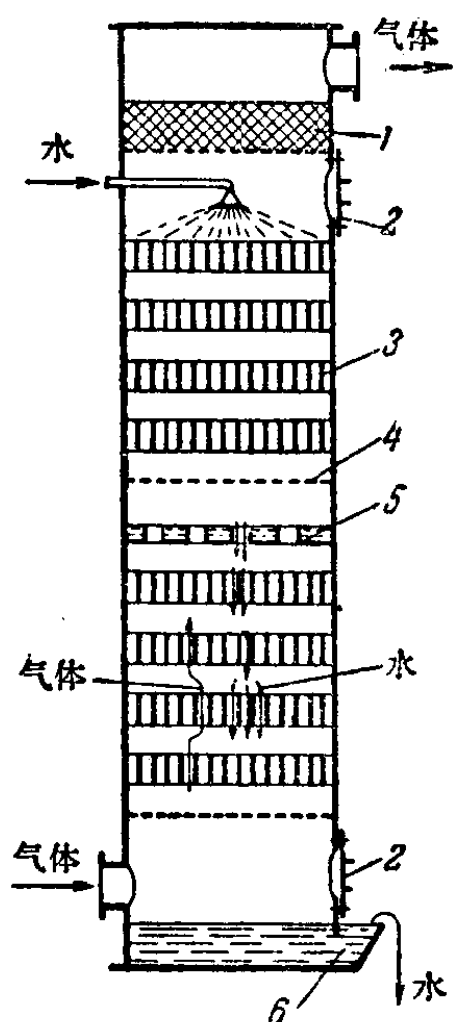


圖 1. 向流填充洗滌塔的構造和操作的示意圖:

1—分离霧沫用的干填料; 2—人孔; 3—冷却气体用的填料; 4—填料支承板; 5—水的分布板; 6—水封。

通过洗滌塔时即被加热,且在底部(在热气体的入口处)达到最高的溫度。在洗滌塔底部的热交换和質交换的条件,通常相当于上述的第二种情况。在塔的頂部,被增湿了的、但还未被最后冷却的气体則与进入的冷水相接触;此处热交换与質交换的条件,相当于上述的第一种情况。因此,在一般情况下,洗滌塔中的質交换过程应该变换它自己的方向。

对于工業洗滌塔中气体与水的溫度变化进程的真实情形,沒有用实验作过研究。然而,在大多数的情况下,比較了气体和水的最初和最終状态以后,是可以作出有关热交换过程的一般結論的。

設自洗滌塔的底部导入热而相当干的气体,并在塔中被向流导入的水所冷却。水在排出时的溫度与加进洗滌塔的水量有关;当水量無穷大时,它的溫度的增加是無穷小的;水加得愈少,則水的終溫度愈高,这个終溫度可由洗滌塔的热量衡算求定。

当洗滌过程已达稳定时,进入的各流的热含量之总和等于导出的各流的热含量之总和:

$$Q = G(ct_1 + d_1 i_1) + W \cdot 1 \cdot t_H = \\ = G(ct_2 + d_2 i_2) + [W - G(d_2 - d_1)] 1 \cdot t_K + q \quad (6)$$

式中 G 和 W ——气体量和水量, [千克];

c ——干气体的热容, [千卡/千克 $^{\circ}\text{C}$];